

УДК 631.45:[575.224+635.264]

БИОТЕСТИРОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ ВСХОЖЕСТИ И МУТАГЕННОЙ АКТИВНОСТИ ЛУКА-БАТУНА *ALLIUM FISTULOSUM* L. (НА ПРИМЕРЕ Г. ЯКУТСКА)

Пудова Т.М.¹, Шадрина Е.Г.²

¹ ФГБОУ ВО Якутская государственная сельскохозяйственная академия, Якутск, e-mail: tuyara22@mail.ru;

² Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, e-mail: e-shadrina@yandex.ru

Проведена оценка состояния почвогрунтов г. Якутска методом биотестирования и анализ зависимости показателей всхожести семян, патологий митоза в клетках корневой меристемы тест-культуры *Allium fistulosum* L. от загрязнения почвенного покрова. Проанализирована 21 проба почвогрунтов, отобранных на территории города вдоль улиц с разным уровнем загрязнения и в контрольном биотопе в рекреационной зоне. Проведен подсчет автотранспортной нагрузки и загрязнения почвенного покрова в 9 точках. Отмечено снижение показателя всхожести семян и повышение мутагенной активности для проб, отобранных в центре города и в точках с высокой транспортной нагрузкой. Отмечена зависимость анализируемых показателей лука-батуна от интенсивности транспортной нагрузки и высокая степень корреляции показателя мутагенной активности с содержанием в почве свинца, марганца, хрома, цинка, меди и показателем суммарного загрязнения почвенного покрова Zc. В целом состояние почвенного покрова в рекреационной зоне г. Якутска можно оценить как благополучное, а наиболее резкие нарушения характерны для центра города, особенно в районе перекрестков с оживленным транспортным движением и в районах, где разрешен проезд большегрузного автотранспорта.

Ключевые слова: биотестирование, всхожесть семян, нарушения митоза, *Allium fistulosum*, селитебные территории, антропогенное загрязнение.

BIOTESTING OF SOIL POLLUTION IN URBANIZED AREAS USING GERMINATION AND MUTAGENIC ACTIVITY OF THE WELSH ONION SPROUTS (*ALLIUM FISTULOSUM* L.) (BY THE EXAMPLE OF YAKUTSK CITY)

Pudova T.M.¹, Shadrina E.G.²

¹ Yakut State Academy of Agriculture, Yakutsk, e-mail: tuyara22@mail.ru;

² Institute for Biological Problems of Cryolithozone, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch, Yakutsk, e-mail: e-shadrina@yandex.ru

The condition of the soils in Yakutsk city was assessed using the method of biotesting. The soil pollution was evaluated by seed germination and occurrence of mitosis abnormalities in root meristem cells of the Welsh onion (*Allium fistulosum* L.). Twenty one samples of the city soils were analyzed. As the control we used samples germinated on filter paper with distilled water and on a soil sample from the recreational zone of the city. The vehicle load and soil pollution in 9 sites were calculated. A decrease in seed germination and an increase in mutagenic activity of the soils from the city center and from sites with high traffic load were registered. A dependence between the analyzed parameters of the Welsh onion and the intensity of the traffic loads was found, as well as high correlation between increased mutagenic activity and lead, manganese, chromium, zinc, and copper content in soil and total Zc soil pollution. The condition of soils in the recreational zone of Yakutsk can be assessed as safe, and the most dramatic disturbances are characteristic of the city center, especially in the areas of high traffic load, crossroads and in the areas open for heavy truck traffic.

Keywords: biotesting, seed germination, mitosis disturbances, *Allium fistulosum*, residential areas, anthropogenic pollution.

Развитие и функционирование промышленности, энергетики, коммунальных служб, транспорта негативно сказывается на экологическом состоянии территории городов. Известно, что почвы урбанизированных территорий характеризуются многокомпонентным загрязнением [4, 5, 8], при котором токсичность различных химических элементов может быть осложнена синергическими или антагонистическими эффектами. В подобных случаях

совместное использование физико-химических и биологических методов контроля загрязнения повышает надежность оценок экологического риска и позволяет обеспечить объективную основу для регулирования поступления потенциально опасных веществ в окружающую среду. Одним из методов биологического контроля загрязнения почвенной среды является биотестирование, которое дает возможность получить интегральную токсикологическую характеристику почв независимо от качественного и количественного состава загрязняющих веществ. Ранее нами и другими исследователями была отмечена связь между степенью загрязнения почв токсичными солями, тяжелыми металлами, коэффициентом Z_c и откликом тест-систем [2, 7, 9, 11].

Наши исследования проведены на территории города Якутска – это административный центр Республики Саха (Якутия), с населением около 300 тыс. человек. Город расположен в среднем течении р. Лены в долине Туймаада, основными источниками загрязнения территории являются теплоэнергетика, строительная индустрия и автотранспорт, на долю которого приходится большая часть загрязнения.

Цель наших исследований заключалась в оценке фитотоксичности почвогрунтов г. Якутска по всхожести семян и частоте нарушений митоза лука-батун *Allium fistulosum* L.

Материал и методы исследований

При биотестировании почв в качестве тест-культуры использовали лук-батун (*Allium fistulosum* L.), в качестве тест-функций – всхожесть семян и изменение цитогенетических показателей клеток корневой меристемы. Выбор тест-культуры обусловлен стабильностью получения качественных цитологических препаратов, крупными хромосомами, достаточно высокой чувствительностью вида к действию мутагенов. Фитотоксичность почв определяли методом почвенных пластинок [1], токсичными почвами считали почвы, вызывающие угнетение прорастания семян на 20–30 % и более. Структурные изменения хромосом учитывали анателофазным методом на временных давленных препаратах, окрашенных реактивом Шиффа [6]. Для подсчета патологий митоза (ПМ) на каждом препарате просматривали не менее 250 анателофазных клеток и рассчитывали процент клеток с нарушениями (забегания, отставания хромосом, образование мостов и фрагментация). В качестве контроля рассматривали проростки, выращенные на почвенной пробе из природного биотопа того же региона и на дистиллированной воде. Всего за период исследования отобрано 22 почвенных пробы, проанализировано 10 340 анателофазных клеток. Оценка транспортной нагрузки проводилась на 9 участках в часы пик (с 8 до 9 час. утра). Подсчитывалось число автомашин, проезжающих по улице в обе стороны за 15 минут в трехкратной повторности, затем производился расчет среднего и перерасчет на количество автомашин в час [10]. При обработке статистической материала использовали общепринятые

параметры, значимость различий между пробами оценивали с применением критерия Стьюдента, значимость корреляций с загрязнением почвенного покрова и автотранспортной нагрузки – с применением рангового коэффициента Спирмена [3].

Обсуждение результатов

Всхожесть семян на водном контроле составила 80 %, мутагенная активность – 5,4 % (табл. 1), именно эти показатели мы использовали при биотестировании почвенных образцов. Как оказалось, в контрольном биотопе, испытывающем слабую антропогенную нагрузку и расположенном вдалеке от автодорог, исследуемые показатели были близки (табл. 1), что свидетельствует о достаточно благополучном состоянии почвы в данном пункте.

Анализ фитотоксичности почвогрунтов показал, что всхожесть семян тест-культуры, пророщенных на пробах городских почвогрунтов, варьировала в пределах 61–81 %. Максимальное снижение показателя выявлено в административном центре города на оживленном перекрестке (п. 11), составила 61 %, что составляет 20 % угнетения прорастания семян тест-культуры относительно контроля. В остальных точках наблюдается некоторое снижение всхожести семян, но в целом можно считать, что почвогрунты не токсичны для прорастания и развития растительности. Нужно отметить, что показатели всхожести семян в некоторых почвенных образцах, отобранных на удалении от проезжей части и на окраинах города, сопоставимы с контрольной точкой (табл. 1).

Анализ мутагенной активности почв показал, что спектр патологических митозов представлен основными типами цитогенетических нарушений – хромосомные и хроматидные мосты, одиночные и парные фрагменты, отставания, забегания хромосом, среди перечисленных преобладали одиночные и парные мосты, что свидетельствует о наличии нарушений по типу «разрывы – воссоединения» и образовании дицентрических хромосом.

Показатели мутагенной активности почвогрунтов на территории города Якутска варьировали в значительно более широких пределах – от 4,68 до 27,97 % от числа исследованных анателофазных клеток. Наиболее значимое повышение нарушений митоза было отмечено для проростков, пророщенных на почвенных пробах, отобранных вдоль улиц с наиболее интенсивной транспортной нагрузкой. Максимальные показатели – свыше 20 % – отмечены в пп. 3 и 22. Анализ влияния загрязнения почвогрунтов проведен нами на примере 9 пунктов (табл. 2).

Таблица 1

Показатели всхожести и частота патологий митоза лука-батуна,
пророщенного на газонных почвогрунтах г. Якутска

№	Пункты отбора проб	Всхожесть, %		Мутагенная активность**			Значимость различий
		Среднее	Угнетение*	N	M	M	
	Водный контроль	80	-	836	5,4	0,46	-
1	Контрольный биотоп	76	5	449	5,5	0,39	Нет
2	Жилые кварталы в центре города	67	16,25	478	8,64	0,74	3,71
3		76	5	716	10,79	0,19	10,83
4		66	17,5	407	6,80	0,62	Нет
5		71	11,25	276	4,68	0,43	Нет
6		81	0	286	5,29	0,36	Нет
7		74	7,5	337	5,81	0,79	Нет
8		75	6,25	665	8,11	0,29	4,98
9		76	5	357	6,16	0,56	Нет
10		Центр, перекрестки	65	18,75	638	13,18	0,45
11	61		23,75	687	20,33	0,39	24,76
12	Промышленный район	67	16,25	512	10,80	0,22	10,63
13		63	21,25	432	10,87	0,45	8,46
14		78	2,5	339	5,12	0,32	Нет
15		69	13,75	291	6,66	0,36	2,16
16		69	13,75	357	5,91	0,17	Нет
17		74	7,5	465	9,62	0,84	4,42
18	Движение большегрузного транспорта	72	10	277	18,56	0,41	21,27
19		74	7,5	354	5,49	0,38	Нет
20		69	13,75	255	11,96	0,78	7,25
21		75	6,25	348	12,40	0,66	8,72
22		74	7,5	578	27,97	0,76	25,33

Примечание: * – угнетение прорастания в % относительно водного контроля;

** n – число анателофазных клеток, M – среднее число клеток с ПМ, m – ошибка среднего; *** – величина t-критерия Стьюдента указана только для статистически значимых различий с водным контролем.

В целом для исследованных проб отмечены статистически значимые положительные корреляции мутагенной активности проб с содержанием пяти микроэлементов, суммарным загрязнением почвенного покрова Zс и содержанием С органического. Для показателя всхожести семян не отмечено статистически значимых зависимостей от загрязнения почвенного покрова. Отмечена также отрицательная корреляция с рН почвы, но она не достигает статистически значимого уровня. Пиковое повышение мутагенной активности выявлено в пробе № 22 – 27,97 %, что коррелирует с данными физико-химических анализов, содержание свинца превышало ПДК в 59,2 раза, меди 9,7 (табл. 2). Кроме того, следует отметить, что в пп. 11 и 22, для которых показатель мутагенной активности имел самые высокие значения, было выявлено полиэлементное загрязнение почвогрунтов (табл. 2).

Влияние загрязнения почвенного покрова на показатели всхожести
и мутагенной активности почвогрунтов г. Якутска

№	Всхожесть, %	МА	рН	Сор. г.	Содержание тяжелых металлов, мг/кг					Zc
					Pb	Mn	Cr	Zn	Cu	
2	67	8,64	8,3	0,00	1,62	25,43	0,23	2,02	2,84	1,6
3	76	10,79	8,1	0,45	12,71	69,06	0,74	10,45	3,6	7,6
8	75	8,11	9	0,00	1,41	28,13	0,39	3,71	2,58	2,0
10	65	13,18	8,1	0,68	33,34	89,51	2,74	14,71	9,43	18,2
11	61	20,33	8	1,81	72,3	205	10,35	383,1	28,81	103,1
12	67	10,8	8,4	1,64	83,21	78,17	3,73	29,84	47	45,5
13	63	10,87	8,4	0,06	4,4	15,05	1,03	7	5,4	4,0
17	74	9,64	8,6	0,00	1,97	27,31	0,3	3,62	2,36	2,1
22	74	27,97	8,3	1,98	355,5	218,6	2,93	13,43	29,13	118,1
Коэффициент корреляции показателей с МА проб			-0,60	0,90	0,87	0,70	0,82	0,75	0,78	0,90
Значимость:			Нет	p < 0,05						

С некоторой долей условности мы разбили пункты отбора проб на четыре категории – жилые кварталы в центре города, перекрестки в центре города, промышленный район (с чередованием жилых домов и промышленных предприятий) и обочины дорог, по которым разрешено движение большегрузного транспорта (на окраинах города и на въезде в город). Анализ обобщенных данных позволяет утверждать, что основную роль в повышении частоты патологий митоза данного тест-объекта играет, прежде всего, автотранспорт. Об этом свидетельствуют сходные показатели МА для жилой и промышленной зон города (рис. 1), тогда как резкое повышение показателя отмечено для перекрестков с оживленным движением и улиц, по которым разрешен проезд большегрузного автотранспорта.

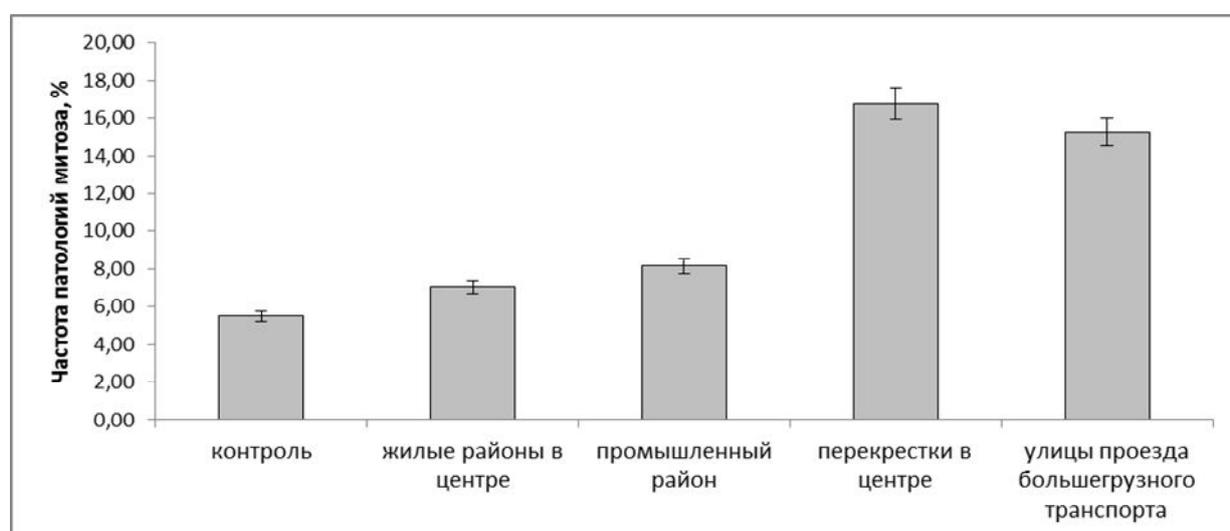


Рис. 1. Мутагенная активность почвогрунтов разных районов г. Якутска

Для выявления зависимости показателей всхожести семян и МА почв от интенсивности транспортной нагрузки проанализировано 9 точек – по 3 пункта в 3 категориях – с интенсивностью движения автотранспорта 1200–1700 (пп. 10, 11, 18), 700–1200 (пп. 3, 12, 15) и менее 100 (пп. 4, 6, 7) автомашин в час (рис. 2). Сопоставление показателей по трем зонам с контрольным биотопом показало, что наиболее значимые нарушения всхожести и повышение частоты ПМ отмечаются, прежде всего, вдоль улиц с интенсивностью движения свыше 1000 автомашин в час, тогда как при показателях 60–70 автомашин в час оба показателя тест-объекта сопоставимы с таковыми из контрольного биотопа (рис. 2). Полученные данные свидетельствуют о сильном негативном воздействии на почвы, оказываемым автотранспортным движением.

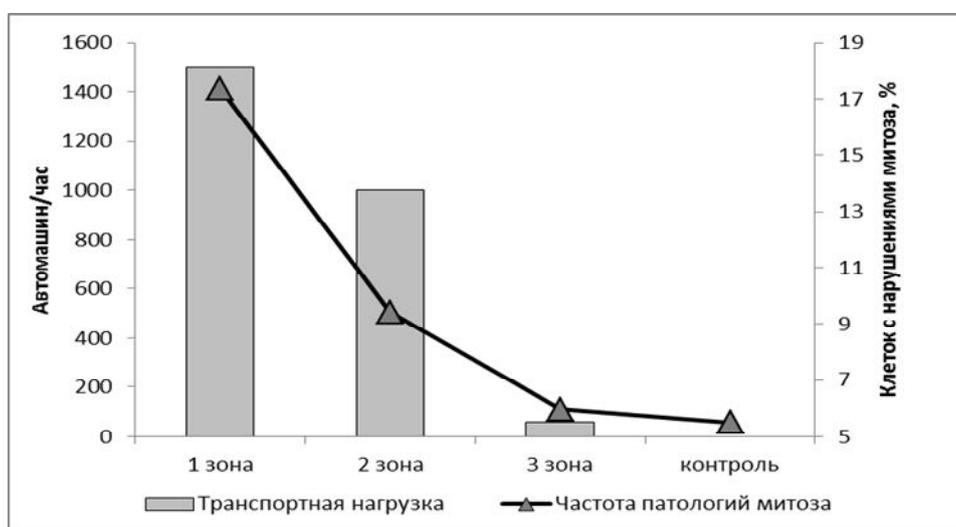


Рис. 2. Зависимость показателя мутагенной активности почвогрунтов от интенсивности транспортной нагрузки в черте г. Якутска

Заключение

Таким образом, биотестирование территории города Якутска по двум показателям тест-культуры лука-батун *Allium fistulosum* – всхожесть семян и частота ПМ – показало, что токсичность городских почвогрунтов связана с химическим загрязнением. Снижение всхожести семян и повышение мутагенной активности отмечено в проростках лука-батун, пророщенных на образцах почвогрунтов с повышенным содержанием тяжелых металлов и отобранных в точках с высокой автотранспортной нагрузкой. Наблюдается статистически значимая корреляция показателя мутагенной активности с содержанием органического углерода, свинца, марганца, хрома, цинка, меди и с показателем суммарного загрязнения почвенного покрова Zс. Состояние среды в рекреационной зоне г. Якутска и на участках с низкой транспортной нагрузкой можно оценить как благополучное, а наиболее резкие

нарушения характерны для центра города, особенно в районе перекрестков с оживленным транспортным движением и в районах, где разрешен проезд большегрузного автотранспорта.

Химико-аналитические исследования выполнены в лаборатории физико-химических методов анализа НИИ Прикладной экологии Севера Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова под руководством к.б.н. Я.Б. Легостаевой, большую помощь в интерпретации результатов оказала к.б.н. Н.Е. Сивцева, которым авторы выражают искреннюю благодарность.

Данное исследование было выполнено в рамках проекта АААА-А17-117020110058-4 «Структура и динамика популяций и сообществ животных холодного региона Северо-Востока России в современных условиях глобального изменения климата и антропогенной трансформации северных экосистем: факторы, механизмы, адаптации, сохранение».

Список литературы

1. Бабьева И.П., Агре Н.С. Практическое руководство по биологии почв. – М.: Изд-во МГУ, 1971. – 140 с.
2. Галактионова Л.В., Васильченко А.В., Суздалева А.В. Биодиагностика почв парковой зоны г. Оренбург // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2015. – № 6 (181). – С. 116-122.
3. Глотов Н.В., Животовский Л.А., Хованов Н.В., Хромов-Борисов Н.Н. Биометрия: учеб. пособие. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1982. – 264 с.
4. Корельская Т.А., Попова Л.Ф. Тяжелые металлы в почвенно-растительном покрове селитебного ландшафта города Архангельска // Арктика и Север. – 2012. – № 7. – С. 136–152.
5. Куимова Н.Г., Шумилова Л.П. Экологическое состояние почв г. Благовещенска // Проблемы экологии Верхнего Приамурья. – 2012. – Т. 14. – С. 46-60.
6. Паушева З.П. Практикум по цитологии растений. – М.: Колос, 1980. – 271 с.
7. Пукальчик М.А., Терехова В.А. Экотоксикологическая оценка городских почв и детоксицирующего эффекта наноконпозиционного препарата // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. – 1012. – № 4. – С. 26–31.
8. Сивцева Н.Е., Легостаева Я.Б., Макаров В.С., Васильев Н.Ф. Экологическая оценка состояния территории г. Якутска по суммарному показателю загрязнения почвенного покрова // Вестник Северо-Восточного Федерального Университета им. М.К. Аммосова. – 2011. – Т. 8, № 2. – С. 30-35.
9. Степанова Т.М., Сивцева Н.Е., Легостаева Я.Б., Трофимова Л.Н. Оценка влияния тяжелых металлов на мутагенную активность почвогрунтов г. Якутска // Материалы V

научно-практической конф. «Урбоэкосистемы: проблемы и перспективы развития». – Ишим: 2010. Изд-во ИГПИ им. П.П. Ершова. – Вып 5. – С. 291-292.

10. Федорова А.И., Никольская А.Н. Практикум по экологии и охране окружающей среды. – М.: ВЛАДОС, 2003. – 288 с.

11. Shadrina E.G., Pudova T.M., Soldatova V.Y., Legostaeva Y.B. Bioindicational assessment of environmental quality in habitats exposed to geological exploration for hydrocarbon (oil and gas) deposits in the west Yakutia // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 15th. 2015. – P. 95–102.